

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Marko Grudenić

Primjena daljinskih istraživanja u suvremenoj geografiji

Prvostupnički rad

Mentor: doc. dr. sc. Dubravka Spevec

Ocjena: _____

Potpis: _____

Zagreb, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Prvostupnički rad

Primjena daljinskih istraživanja u suvremenoj geografiji

Marko Grudenić

Izvadak: Daljinska istraživanja su metoda prikupljanja informacija o nekom objektu na Zemljinoj površini, bez fizičkog kontakta s istim. Uža područja daljinskih istraživanja su teledetekcija i fotogrametrija koja se dijeli još na aerofotogrametriju (snimanja iz zraka) i terestričku fotogrametriju (snimanja sa Zemlje). Teledetekcija obuhvaća prikupljanje podataka o Zemljinoj površinskoj upotrebom uređaja smještenih u satelitu i njihovu interpretaciju, dok je fotogrametrija istovremeno umjetnost, znanost i tehnologija dobivanja pouzdanih kvantitativnih informacija o fizičkim objektima i okolišu putem prikupljanja i obrade podataka, mjerenja i interpretacije fotografskih slika i scena elektromagnetskog zračenja dobivenih putem senzorskih sustava. Važnost daljinskih istraživanja za suvremenu geografiju je neupitna, pomoću njih se prikupljaju informacije o objektima na Zemljinoj površini i njihovoj promjeni kroz vrijeme.

27 stranica, 18 grafičkih priloga, 0 tablica, 18 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: teledetekcija, fotogrametrija, sateliti, daljinska istraživanja, geografija

Voditelj: doc. dr. sc. Dubravka Spevec

Tema prihvaćena: 7. 2. 2019.

Datum obrane: 20. 9. 2019.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geography

Undergraduate Thesis

Application of remote sensing in contemporary geography

Marko Grudenić

Abstract: Remote sensing is the process of acquiring information about an object on the Earth's surface without physical contact. Remote sensing is divided into teledetection and photogrammetry, which is divided into aerial photogrammetry and terrestrial photogrammetry. Teledetection includes collection of data on the Earth's surface using satellite-based devices and its interpretation, while photogrammetry is the art, science and technology of acquiring relevant quantitative information about physical objects and environment, processing data, measuring and interpreting photographic images and scenes of electromagnetic radiation from sensor systems. The role of remote sensing is very important for contemporary geography, due to the fact that remote sensing helps people to acquire information about the Earth, and the undergoing processes are becoming more intensive,

27 pages, 18 figures, 0 tables, 18 references; original in Croatian

Keywords: teledetection, photogrammetry, satellites, remote sensing, geography

Supervisor: Dubravka Spevec, PhD, Assistant Professor

Undergraduate Thesis title accepted: 07/02/2019

Undergraduate Thesis defense: 20/09/2019

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Daljinska istraživanja od druge polovice 20. stoljeća do danas.....	2
3. Fotogrametrija.....	4
4. Teledetekcija.....	5
5. Proces daljinskih istraživanja.....	7
6. Primjeri primjene daljinskih istraživanja.....	10
6.1. Primjena u Geoekologiji.....	10
6.1.1. Havarija tankera <i>Sea Empress</i> uz obale Walesa, Ujedinjeno Kraljevstvo.....	10
6.2. Primjena u Hidrogeografiji.....	11
6.2.1. Poplava u provinciji Manitoba, Kanada, 1997. godine.....	11
6.3. Primjena u Ruralnoj geografiji.....	13
6.3.1. Promjene u načinu korištenja zemljišta na delti rijeke Zhujiang, Kina.....	13
6.3.2. Promjene okoliša u pograničnom području SAD-a i Meksika.....	16
6.4. Primjena u Geografiji mora.....	18
6.4.1. Praćenje saliniteta mora i oceana pomoću satelita Aquarius.....	18
6.5. Primjena u Geomorfologiji.....	19
6.5.1. Upotreba digitalne aerofotogrametrije za određivanje stope rasta sekundarne vulkanske kupe na planini Mount St. Helens, Washington, SAD, 2004. –2005. godine.....	19
6.5.2. Povlačenje ledenjaka na Himalaji.....	21
6.6. Primjena u Klimatologiji.....	23
6.6.1. Otkrivanje i proučavanje El Niña.....	23
7. Zaključak.....	25
Popis literature.....	26
Popis izvora.....	27

1. Uvod

Daljinska istraživanja (engleski *remote sensing*, njemački *Fernerkundung*, francuski *télédétection*) je metoda prikupljanja i interpretacije informacija o udaljenim objektima na površini Zemlje bez fizičkog dodira s objektom (Frančula i Lapaine, 2001). Zrakoplovi, sateliti i svemirske sonde su uobičajene platforme za opažanja u daljinskim istraživanjima. Termin *daljinska istraživanja* označava metode koje se koriste elektromagnetskom energijom kao sredstvom za otkrivanje i mjerenje značajki objekata. Takva definicija daljinskog istraživanja isključuje električna, magnetska i gravitacijska mjerenja kojima se mjeri snaga polja, a ne elektromagnetsko zračenje (Gierloff-Emden, 1989). Ova tehnika pokriva čitav elektromagnetski spektar od niskofrekventnih radiovalova kroz mikrovalnu, submilimetarsku, daleku infracrvenu, blisku infracrvenu, vidljivu, ultraljubičastu, rendgensku i gama frekvenciju elektromagnetnog spektra. Vrste snimaka dobivene daljinskim istraživanjima najčešće su fotografske, termalne i radarske, no postoji još veći broj i drugih vrsta snimaka. Daljinsko istraživanje je disciplina koja se konstantno razvija te nudi širok spektar specijalnosti ili specijalizacije te prelazi granice tradicionalnih znanstvenih te tehnoloških disciplina. Njegova multidisciplinarna priroda zahtijeva od svog korisnika dobro osnovno znanje iz mnogih područja znanosti i zahtijeva interakciju s istraživačima u širokom rasponu različitih područja poput elektromagnetske teorije, spektroskopije, primijenjene fizike, geologije, atmosferskih znanosti, agronomije, oceanografije, elektrotehnike i optičke tehnike. Razvojem satelita omogućeno nam je prikupljanje podataka i s drugih planeta, a ne samo sa Zemlje. Senzori na satelitima koji kruže oko Zemlje pružaju informacije o obrascima i dinamici oblaka, površinskom vegetacijskom pokrovu i njegovim sezonskim varijacijama, površinskim morfološkim strukturama, površinskoj temperaturi oceana i vjetru blizu površine. Dobivenim snimcima možemo se služiti kako u fizičkoj, tako i društvenoj geografiji. Primjerice, snimke nam mogu poslužiti kao temelj za izradu meteoroloških, geoloških i hidroloških karata, ali isto tako u istraživanjima u urbanoj i ruralnoj geografiji.

2. Daljinska istraživanja od druge polovice 20. stoljeća do danas

Godina 1972. bila je prijelomna za daljinska istraživanja, jer je te godine lansiran satelit Landsat 1. Bio je to prvi satelit u potpunosti namijenjen za snimanje i istraživanje Zemljine površine. Landsat je prvi pružio sustavno ponavljano promatranje kopnenih područja Zemlje. Svaka snimka Landsata prikazivala je velika područja Zemljine površine u nekoliko dijelova elektromagnetskog spektra, a istovremeno je nudila skromne razine detalja. Iako su se podaci s Landsata u početku koristili prvenstveno kao otisci ili folije, kasnije su dobiveni u digitalnom obliku. Rutinska dostupnost digitalnih podataka u standardnom formatu stvorila je temelje za rapidni rast popularnosti digitalne analize te su se postavili temelji za razvoj softvera za analizu slika koji je sada uobičajen. Tijekom 1970-ih fotogrametrijski procesi koji su se prvobitno primijenili pomoću mehaničkih instrumenata redefinirali su se kao digitalne analize, što je dovelo do poboljšanja preciznosti i pojednostavljenja prikupljanja, obrade, proizvodnje i distribucije podataka. Do ranih 1980-ih, druga generacija instrumenata za prikupljanje satelitskih slika pružala je sitnije prostorne detalje u rezolucijama 30 m, 20 m i 10 m, a od 1990. slike u rezoluciji metra i manje od metra. Krajem 1990-ih, razvoj komercijalnih kapaciteta (npr. Geoeye i IKONOS) za stjecanje satelitskih snimaka dobre razlučivosti (u početku s prostornim razlučivostima od nekoliko metara, ali na kraju i detaljima podmjera) otvorio je nove civilne primjene koje su ranije bile dostupne samo korištenjem zračnih fotografija. Važno je napomenuti da je takav napredak u području daljinskog istraživanja napredovao je u tandemu s napretkom geografskih informacijskih sustava (GIS), koji su omogućili spajanje podataka s daljinskog osjetila i drugih geoprostornih podataka u zajednički analitički okvir te se na taj način poboljšao raspon proizvoda i otvaranje novih tržišta: mapiranje urbane infrastrukture, temelj precizne poljoprivrede, primjerice podrška preslikavanju poplavnih nizina (Campbell i Wynne, 2011).

Tijekom prvog desetljeća 21. stoljeća, sve veća moć interneta počela je utjecati na javni pristup rezultatima daljinskih istraživanja. Iako se velik dio prethodne povijesti daljinskog istraživanja može smatrati radom stručnjaka na proizvodnji specijaliziranih proizvoda za uporabu drugih specijalista, ali taj razvoj ovisio je o dizajniranju proizvoda za široku javnost. Google Earth, objavljen 2005. godine, tvori virtualni prikaz Zemljine površine kao sastavni dio raznolikih digitalnih slika, koristeći osnovne koncepte koje je razvio Keyhole, Inc., a koje je Google kupio 2004. godine. Google Earth dizajniran je za komunikaciju s široko definiranom publikom, a to je publika bez specijaliziranog znanja koje je prije bilo preduvjet za uporabu ove vrste podataka.

Osnovna svrha programa Google Earth je prepoznavanje vrijednosti slikovnih proizvoda nastalih preciznim georeferenciranjem slika dobivenih u različitim datumima, mjerilima i rezolucijama. Takvi se kompoziti mogu gledati koristeći interaktivno sučelje za pregledavanje, promjenu razmjera, orijentacije i detalja. Google Earth dodao je specijalizirane alate za prilagođavanje programa potrebama specifičnih korisnika, primjerice poboljšanje mogućnosti prikaza i integraciju drugih podataka u okvir programa Google Earth. Proizvod se temelji na uvidu da alat Google Earth može privući stanovništvo koje nije specijalizirano u ovom polju znanosti (Campbell i Wynne, 2011).

3. Fotogrametrija

Fotogrametrija, uže područje daljinskih istraživanja, definira se kao umjetnost, znanost i tehnologija dobivanja pouzdanih kvantitativnih informacija o fizičkim objektima i okolišu, procesom zabilježbe, mjerenja i interpretacije fotografskih slika i scena elektromagnetskog zračenja dobivenih senzorskim sustavima. Fotogrametrija se dijeli na terestričku fotogrametriju (snimanje sa Zemlje) te aerofotogrametriju (snimanje iz zraka). Aerofotogrametrija je najčešće korištena metoda za izradu planova i karata (posebno za veća područja). Brojne su prednosti metode: smanjenje terenskog rada, skraćivanje vremena izrade, smanjenje troškova, no ima i mana poput savršenih vremenskih uvjeta za izvođenje snimanja.

Aerosnimak nastaje aerofotogrametrijom, zapravo to je slika određenog područja (sl. 1). Na toj slici sav je vidljivi sadržaj prikazan svojim oblikom i dimenzijama pomoću tonских razlika (kod fotografija u boji u tonovima boja). Prema tome, snimci sadrže obilje informacija kojih s kartografskog gledišta ima i suviše mnogo da bi ih se moglo kartografski prikazati. S druge strane, snimak neće sadržavati neke važne informacije koje sadrže karte. To su u prvom redu nazivi, koordinatni sustav i jedinstveno mjerilo. Nadalje, snimci su snimljeni u centralnoj projekciji, a karte se izrađuju u raznim drugim projekcijama. Na pojedinačnim snimcima visinska predodžba je slaba i do nje se dolazi neizravno (po sjeni, oblicima komunikacija, obliku i smjeru pružanja parcela, potpornih zidova, po kulturama itd.), dok se stereoskopskim promatranjem parova snimaka dobiva vjernija i jasnija predodžba o reljefu. Prema tome karte i snimci se pri pružanju informacija međusobno ne isključuju, već se dopunjuju, što je i dovelo do izrade fotokarata (Frančula, Lapaine i Vučetić, 1994).



Sl. 1. Zračni snimak Zagreba u infracrvenom spektru

Izvor: Nastavni materijali izv. prof. dr. sc. A. Toskića

4. Teledetkcija

Teledetekcija obuhvaća prikupljanje podataka o Zemljinoj površini pomoću uređaja smještenih u satelitima i njihovu interpretaciju. Primjena je započela prije skoro pedeset godine kada je Koeman 1971. godine pokazao kako se s pomoću satelitskih snimaka mogu poboljšati prikazi reljefa na kartama sitnih mjerila. Ilustrirao je to brojnim usporednim prikazima satelitskih snimaka i isječaka karata istog područja. Usporedbom jednog satelitskog snimka i karte u tom članku uočava se da na području Himalaja u Tibetu nedostaje jedan planinski vrh visok oko 5000 m. S istog snimka i karte može se također uočiti da oblici dvaju jezera na karti nisu dobro prikazani. Satelitski snimci pružaju kartografu važnu pomoć i u procesu kartografske generalizacije.

Već Schwidefsky 1967. godine naglašava da je na satelitskim snimcima, jer su to direktna snimanja u sitnim mjerilima, ostvarena neposredna optička generalizacija. Polazeći od te tvrdnje Koeman (1971) ističe da satelitski snimci daju danas, prvi put u povijesti čovječanstva, sliku Zemljine površine u sitnim mjerilima (1:500 000 – 1:5 000 000) bez subjektivne intervencije kartografa. Do danas karte mjerila sitnijih od mjerila 1:500 000 bilo je moguće sastavljati jedino procesom kartografske generalizacije iz karata krupnijih mjerila (Frančula i Lapaine, 2001).

Satelitski snimci jasno pokazuju makrooblike očišćene od nejasnoća prouzrokovanih suviškom mikrodetalja. Na taj način vrlo su pogodni izvornici za izradu karata sitnih mjerila na kojima i treba, prvenstveno, prikazati makrooblike. Na šest primjera Koeman pokazuje kako satelitski snimci pridonose objektivnijem prikazu makrooblika reljefa i obalne linije na kartama sitnih mjerila (Frančula i Lapaine, 2001).

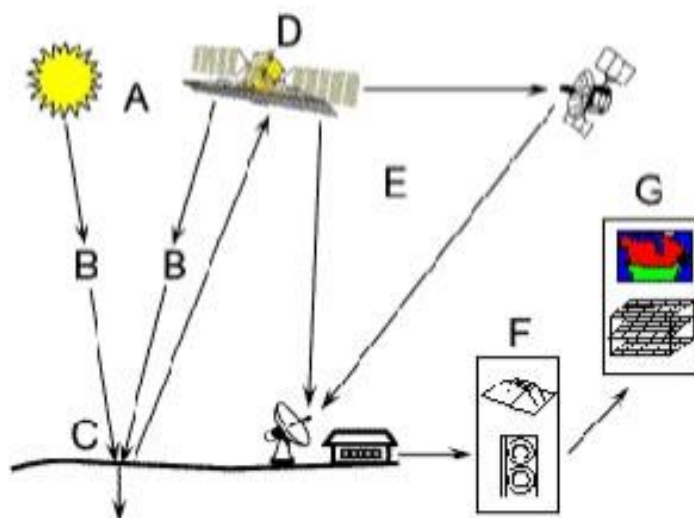
Danas kad se satelitski snimci mogu upotrebljavati i za osuvremenjavanje i izradu topografskih karata, nužnost njihove primjene u kartografiji još je izraženija. Teledetekcija je dobar način proučavanja promjena na Zemljinoj površini kao što je, svima nam je poznat primjer, smanjivanja Aralskog jezera u Aziji (sl. 2).



Sl. 2. Promjena površine Aralskog jezera prikazana Landsat snimkama

Izvor: <https://medium.com/@nurgulaberk/fashion-industry-is-causing-an-environmental-crisis-8b671580ec50>

5. Proces daljinskih istraživanja



Sl. 3. Princip daljinskih istraživanja

Izvor: Canada Centre for Mapping and Earth Observation

Proces daljinskih istraživanja može se razmatrati kroz sedam sastavnih dijelova (sl. 3):

A) Izvor energije – prvi uvjet za daljinska istraživanja je imati izvor energije koji svijetli ili pruža elektromagnetsku energiju prema određenom cilju/objektu istraživanja.

B) Zračenje i atmosfera – dok energija putuje od svog izvora do cilja/objekta, ona će doći u kontakt s atmosferom i česticama koje se nalaze u njoj. Ova interakcija može se dogoditi drugi put kad energija putuje od cilja/objekta do senzora.

C) Interakcija s ciljem/objektom istraživanja – jednom kada energija dođe do cilja kroz atmosferu, dogoditi će se interakcija između elektromagnetskog zračenja i cilja/objekta istraživanja, primjerice vegetacije, vode,...

D) Snimanje energije senzorom – nakon refleksije iz cilja/objekta, potreban je senzor (daljinski, koji nije u kontaktu s ciljem) za prikupljanje i snimanje elektromagnetskog zračenja koje dolazi od cilja/objekta istraživanja.

E) Prijenos, prijem i obrada – energija koju bilježi senzor mora se prenositi u elektroničkom obliku, na stanicu za prijem i obradu podataka gdje se podaci obrađuju u sliku.

F) Tumačenje i analiza – obrađena slika se interpretira, vizualno, digitalno te elektronički radi dobivanja podataka o osvijetljenom cilju/objektu.

G) Primjena – konačni element postupka daljinskog osjetila postiže se kada primijenimo informacije koje smo uspjeli dobiti iz slike o cilju/objektu kako bismo je bolje razumjeli, otkrili neke nove informacije te pomogli u rješavanju određenog problema.

Proces daljinskog istraživanja sastoji se od četiri glavna postupka: dizajn plana, prikupljanje podataka, analiza podataka i primjena informacija (Aronoff 2005; Jensen 2007; Lillesand, Kiefer i Chipman, 2007). Proces izrade plana je orijentiran na primjenu snimaka koje će se dobiti ovim procesom. Idući korak je definiranje svrhe primjene te moguće probleme i procjenjuje se potencijal rješavanja problema s tehnologijom daljinskog istraživanja. Kritično za učinkovite primjene bilo koje metode daljinskog istraživanja su temeljito razumijevanje potreba i problema. To nam uvelike pomaže u prepoznavanju potrebnih podataka daljinskog istraživanja, točnije, pomaže nam odrediti kako i kada treba pribaviti podatke i u kojoj količini, kakvu analizu podataka provoditi te koje informacije treba generirati.

Dio energije koji zrači Zemljina površina nakon prigušenja atmosfere reflektira se ili emitira u senzore na satelitu ili zrakoplovu. Količina energije koja dopire do senzora bilježi se i arhivira kao daljinski snimak (podatak) na filmovima, vrpčama ili diskovima u prethodno određenim formatima. Kad korisnici dobiju podatke dobivene ovom metodom, započinje postupak analize podataka. Znanstvenici specijalizirani u ovom polju istraživanja igraju glavnu ulogu u ovom procesu za dobivanje podataka o objektima koji nas zanimaju i proizvode snimke i karte od stečenih podataka putem vizualne interpretacije, računalne obrade slike ili kombinacije obojega. Iako je vizualna interpretacija nezamjenjiva u istraživanju daljinskog istraživanja, u suvremeno doba računalna obrada slika postala je najbolja u izvlačenju informacija iz dobivenih snimaka (Konecny, 2003).

Nakon pretvaranja osnovnih, prvotnih podataka daljinskog istraživanja u smislene geografske vizualne informacije, dobivaju se informativni proizvodi uključujući slike, karte, tablične sažetke i izvješća za uporabu u sljedećim postupcima obrade informacija. Stručnjaci za daljinska istraživanja i znanstvenici za primjenu istog trebaju međusobno komunicirati u postupku obrade podataka. Stručnjaci koji vrše istraživanja daju znanstvenicima informacije, odnosno podatke dobivene daljinskim istraživanjem. Nakon toga znanstvenici ih zajedno s podacima iz drugih izvora koriste za rješavanje problema utvrđenih u postupku izrade plana. Tako da možemo zaključiti kako su sva procesa u daljinskim istraživanjima međusobno integrirana (Konecny, 2003).

Ovi podaci uglavnom uključuju zračne fotografije i digitalne satelitske snimke, uključujući radarske podatke. Podaci imaju nekoliko jedinstvenih svojstava. Prije svega, to su slike određenog položaja na Zemljinoj površini; stoga imaju geografski obuhvat i dolaze s koordinatnim sustavom ili projekcijom. Oni se dobivaju u određeno vrijeme u određenim spektralnim valnim duljinama pomoću senzora s određenom osjetljivošću na visini.

Oni imaju svoj datum i vrijeme slikanja te prostorne, spektralne, radiometrijske i vremenske rezolucije. Iako se za daljinska istraživanja prvotno koristilo optičke senzore, sintetička-apertureradarska slika visoke rezolucije postala je dostupna za površinsko daljinska istraživanja putem satelita Seasat-1 pokrenutog u lipnju 1978. godine. Radarsko daljinska istraživanja može izvoditi prikućanje podataka i danju i noću i pod svim vremenskim uvjetima s boljim mogućnostima prodiranja valova do Zemljine površine od optičkih senzora. Te su prednosti učinile takve radarske sustave idealnim za snimanje površina prekrivenih oblacima poput tropskih kišnih šuma i područja čestih naoblaka i magla. Uz to, interferometrijski rad radara postao je koristan alat za trodimenzionalno daljinska istraživanja, pomoću njega dobivamo 3-D modele (Agnew i Livingstone, 2011).

Daljinska istraživanja je proces široko korišten u geografiji, znanosti o Zemlji i ekološkim studijama, pružajući kritične okolišne i ekonomske informacije za prognoziranje vremena, upravljanje vodnim resursima, reagiranje na katastrofe i identifikaciju opasnog otpada, upravljanje transportom i urbanističko planiranje, inventar i nadzor šuma te raspon šuma, upravljanje ekosustavima i popis bioraznolikosti, kartiranje tla i operacije poljoprivrede i istraživanje minerala. Daljinska istraživanja mogu se baviti kratkoročnim ili relativno dugoročnim ekološkim problemima na lokalnoj, regionalnoj i globalnoj razini.

Za kratkoročne incidente kao što su poplave te požari, informacije dobivene iz satelitskih podataka mogu pomoći u naporima za ublažavanje poplava, obuzdavanje požara i procjenu njihove štete. Za dugoročna pitanja zaštite okoliša, kao što su otapanje polarnog leda i stratosfersko smanjivanje ozona, sateliti mogu pomoći prepoznati trendove opadanja ili porasta plinova i čestica u atmosferi na temelju prijašnjih podataka. Živimo u okolišu koji se nalazi između atmosfere, biosfere, hidrosfere i litosfere Zemlje, no veliki nedostatak je to što ne postoje podaci od prije par stotina ili tisuća godina, koji bi nam odlično poslužili za usporedbu. Daljinska istraživanja omogućuju nam da Zemljinu površinu promatramo u cjelini, to je nešto što prije nismo mogli raditi. Oceanska i kopnena površina i atmosfera mogu se istovremeno i periodično pregledavati sa satelita u orbiti, a daljinska istraživanja u različitim mjerilima mogu osigurati različite geofizičke varijable, uključujući: sunčevo zračenje, emisiju dugovalnog zračenja, temperaturu zraka, brzinu vjeta, aerosole, vodenu paru, oborine, oblake, munje, atmosferske kemijske elemente, modele visine terena, temperaturu kopna, vlagu tla, isparavanje, emisije plinova uslijed vulkanske erupcije, glečere i snježne/ledene pokrove, vegetacijske parametre, temperaturu morske površine, topografiju površine oceana, odnos fitoplankton-klorofila i cirkulaciju oceanskih struja.

6. Primjeri primjene daljinskih istraživanja

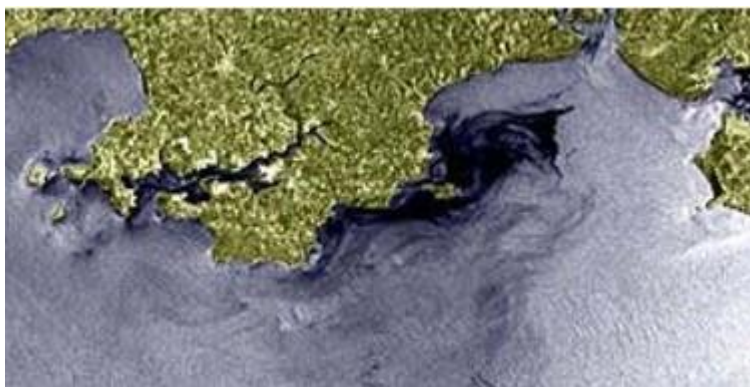
6.1. Primjena u Geoekologiji

6.1.1. Havarija tankera *Sea Empress* uz obale Walesa, Ujedinjeno Kraljevstvo

Supertanker *Sea Empress* imao je nesreću u blizini gradića Milford Haven, Wales, 15. veljače 1996. godine. Nakon udara u stijenu probijen je vanjski trup i otprilike 70.000 tona sirove nafte raspršilo se po moru prema jugu pod utjecajem olujnog vjetrova i morskih struja.

Na snimci RADARSAT-a (sl. 4), snimljenoj tjedan dana nakon izlivanja, vidljiva je površina prekrivena naftom. Tamna područja uz obalu predstavljaju područja u kojima je nafta prisutna, a područja svjetlijeg tona na jugu su područja na koja je raspršeno sredstvo koje potiče emulziju (razgradnju nafte). Nafta, koja pluta na površini vode, stvara površinu glatku od vode. Ova glatka površina izgleda tamna na snimku. Kako nafta počinje emulgirati, a čišćenje počinje djelovati, nafta se razgrađuje te na slikama ta površina izgleda svjetlije. Veličina, mjesto i širenje izlivanja nafte može se odrediti pomoću sličnih vrste slika (Canada Centre for Remote Sensing).

Ovim primjerom možemo brzo i jednostavno proučiti razmjere ove havarije, jer nam snimak dobiven daljinskim istraživanjem daje odlične temeljne informacije koje možemo dalje koristiti. Primjerice daje nam odličnu informaciju o prostoru zahvaćenom ovom tragedijom, to nam olakšava procjene utjecaja na morski biljni i životinjski svijet.



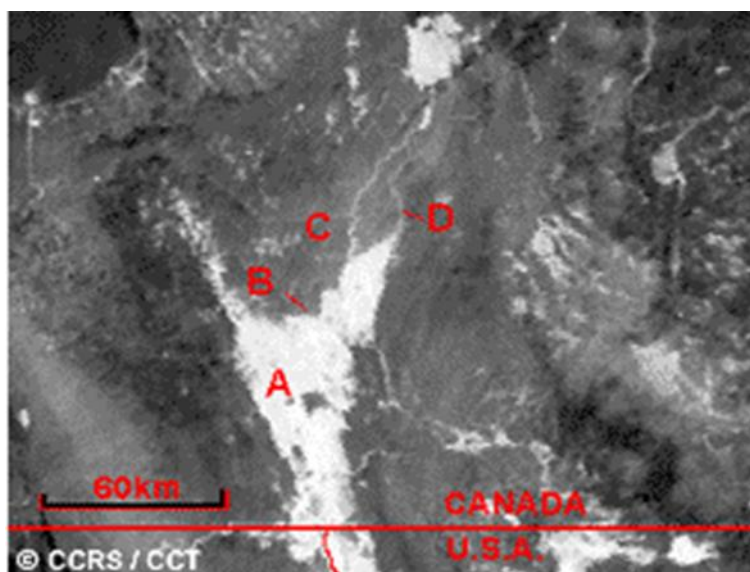
Sl. 4. Naftna mrlja uz obalu Milford Havena, Wales, UK, 1996. godine

Izvor: Canada Centre for Remote Sensing. Fundamentals of Remote Sensing, Tutorial, 2019.

6.2. Primjena u hidrogeografiji

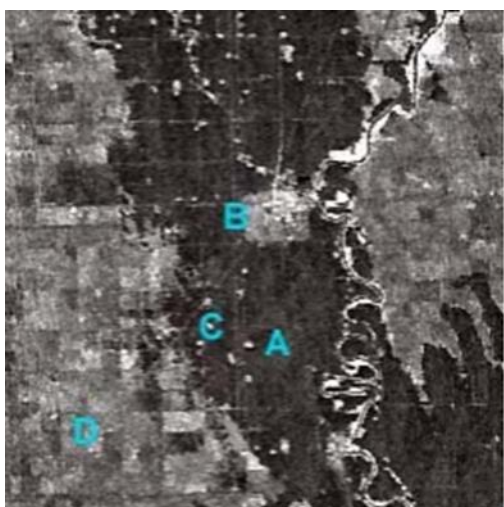
6.2.1. Poplava u provinciji Manitoba, Kanada, 1997. godine

Poplava koja je zahvatila područje provincije Manitoba 1997. bila je enormnih razmjera. Fotografije iz zrakoplova nisu bile dovoljne kako bi se prikazalo područje zahvaćeno poplavom. Međutim iz satelitskih snimaka se procijenilo kako je rijeka prosječne širine 200 m u trenutku poplave bila široka čak 40 km na nekim mjestima (sl. 5).



Sl. 5. Snimka NOAA-AVHRR poplavljene Crvene rijeke, 1997. godine

Izvor: Canada Centre for Remote Sensing. Fundamentals of Remote Sensing, Tutorial, 2019.



Sl. 6. Snimka RADARSAT-a poplavljenog područja u okolici grada Morrisa u provinciji Manitoba, 1997. godine

Izvor: Canada Centre for Remote Sensing. Fundamentals of Remote Sensing, Tutorial, 2019.

Osim RADARSAT-a, sateliti NOAA-e (Nacionalna Oceanografska i Atmosferska Administracija, SAD) POES (Polar Orbiting Environmental Satellites) pružili su pogled malih dimenzija na poplavljeno područje. Slika 5 je snimljena noću u termalnim infracrvenim valnim duljinama, zemlja je tamna jer je hladna, a voda (A) bijela jer je toplija. Na slici se vidi i jedan nasip (B) koji je spriječio dotok vode u južni Winnipeg. RADARSAT snimke su detaljnije, na slici 6 se vidi kako voda (A) okružuje grad Morris (B) koji izgleda kao svijetla mrlja unutar tamne površine. Vodena površina je prikazana tamno zbog toga što se malo energije poslane mikrovalnim zrakama odbije od vodene površine, za razliku od zemljine površine od koje se valovi odbiju natrag. Željeznica (C) se također može uočiti na snimci jer je podignuta od tla, pruža se u smjeru jugozapad-sjeveroistok. Polja koja nisu poplavljena (D) imaju drukčije nijanse sive boje zbog toga što se svako polje razlikuje po količini vode i rahlosti tla.

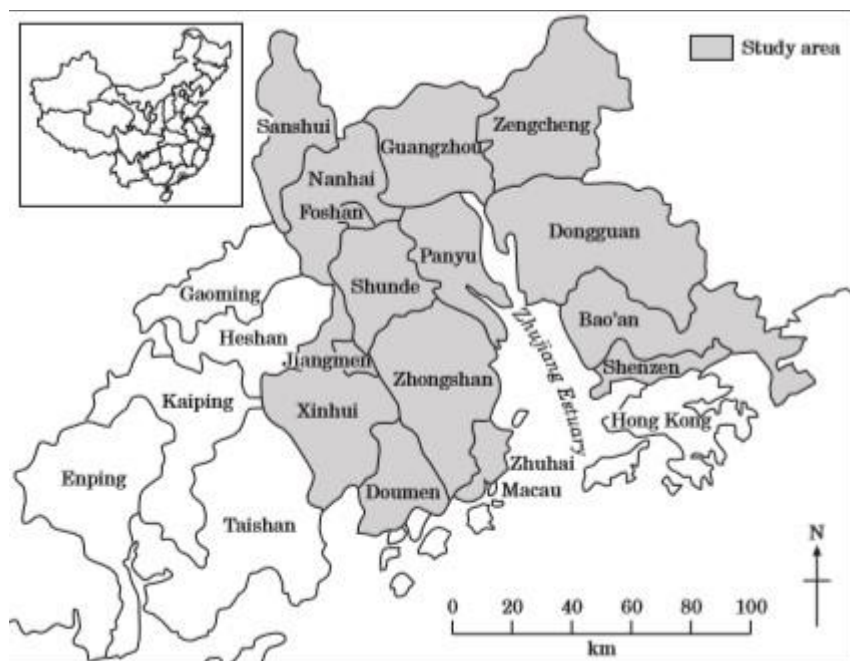
Tehnologija daljinskog istraživanja omogućuje nadgledavanje poplavljenih područja. Satelitske snimke nam uz pomoć prijašnjih snimaka (snimka područja prije poplave) i GIS-a daju informacije visini vodostaja, o veličini područja i infrastrukturi koja su zahvaćena poplavom i o područjima koja su suočena s potencijalnom opasnošću od poplava (sl. 6). S geoekološkog stajališta pomoću snimke možemo precizno procijeniti kakve su posljedice za životinjski i biljni svijet (poput uništavanje staništa). Kartiranje poplavnih nizina, (zapuštenih) riječnih kanala i meandara važni su za prostorno planiranje i usmjeravanja prometa u budućnosti.

6.3. Primjena u Ruralnoj geografiji

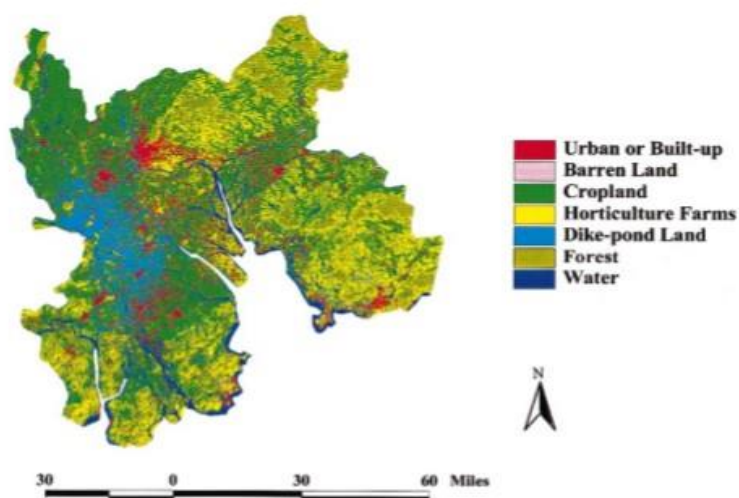
6.3.1. Promjene u načinju korištenja zemljišta u delti Zhujiang, Kina

Od 1978. godine, kada je Kina pokrenula ekonomsku reformu i politiku otvorenih vrata, na većem dijelu njezinog teritorija odvijale su se brze promjene načina korištenja zemljišta i promjene vegetacijskog pokrova. Brza industrijalizacija i urbanizacija rezultirala je gubitkom značajne količine poljoprivrednog zemljišta. To se posebno odnosi na mnoge obalne regije i gradove, poput delte rijeke Zhujiang (Biserne rijeke) gdje je maksimalizacija ekonomske učinkovitosti glavni prioritet razvoja. Zbog nedostatka odgovarajućeg planiranja korištenja zemljišta i mjera za održivi razvoj, snažan urbani rast i masovni nestanak poljoprivrednih površina imali su negativne posljedice na okoliš (Qihao, 2002).

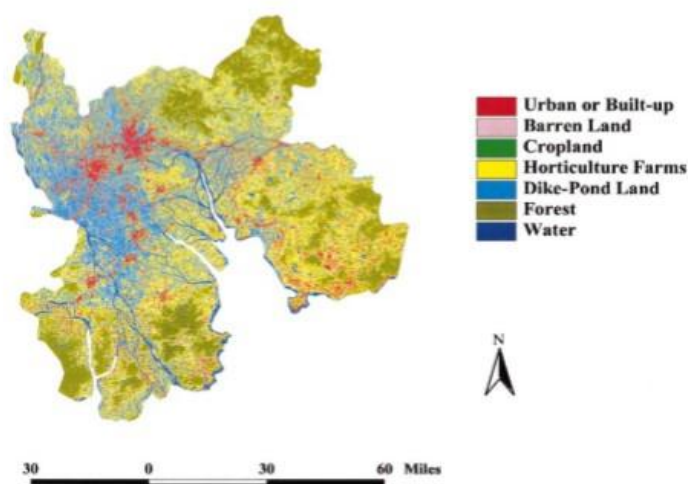
Delta rijeke Zhujiang treća je po veličini delta Kine. Ovo je istraživanje usredotočeno na područje jezgre delte, koje ima površinu 15 112 četvornih kilometara (sl. 7). Geomorfološki, delta se sastoji od tri dijela nastalih sedimentiranjem, a ti dijelovi delte nazivaju se Xijiang, Beijiang i Dongjiang. Proces sedimentacije se i danas odvija, a delta se produžuje prema moru za 40 m godišnje. Ekonomski gledano, delta Zhujiang najveće je područje gospodarske koncentracije u Južnoj Kini. Od 1978. godine imala je dramatičnu ekonomsku ekspanziju u okviru kineske gospodarske reforme, pa se stoga smatra modelom kineskog regionalnog razvoja. Uspostavljanje posebnih ekonomskih zona i otvorena gospodarska zona potaknulo je strane kompanije da tu svoje tvornice smjeste kao poduzeća u seoskim gradovima (Qihao, 2002).



Sl. 7. Karta područja oko delte Biserne rijeke obuhvaćena ovim radom, 2002. godine
 Izvor: Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling

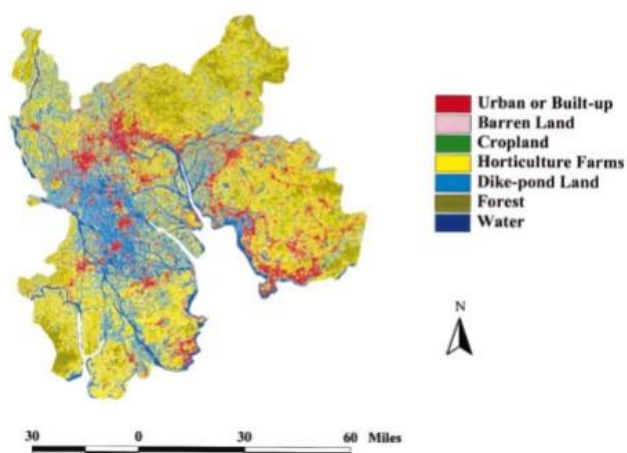


Sl. 8. Korištenje zemljišta i vegetacijski pokrov u delti rijeke Zhuijiang, 1989. godine
 Izvor: Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling



Sl. 9. Korištenje zemljišta i vegetacijski pokrov u delti rijeke Zhuijiang, 1994. godine

Izvor: Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling



Sl. 10. Korištenje zemljišta i vegetacijski pokrov u delti rijeke Zhuijiang, 1997. godine

Izvor: Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling

Analizom slika 8., 9. i 10. možemo uočiti velike promjene u načinu korištenju zemljišta. Na slici 8. iz 1989. godine možemo vidjeti kako je većina površina bila pod usjevima žitarica poput prosa, pšenice i kukuruza (Qihao, 2002). Dok su druga značajnija područja bila su pod šumama te područja sa sustavom za navodnjavanje. Mala područja su bila izgrađena te urbani dio nije imao izraženi udio na ovom području istraživanja. Kako je ekonomska reforma bujala tako se mijenjala uporaba zemljišta i vegetacijski pokrov. Prema slikama 9. i 10., nastalim 1994. i 1997. vidi se smanjenje površina pod žitaricama te površina pod šumom, ali raste područje pod

hortikulturama primjerice raste uzgoj voća, povrća i cvijeća. Velika promjena se dogodila u urbanim i izgrađenim područjima čija je površina porasla za 50 %.

Analizom ovog primjera možemo uočiti povezanost poljoprivrednih područja s novonastalim urbanim dijelom. Kako su gradovi poput Hong Konga, Shenzhena i Guangzhoua rasli tako se mijenjala potreba za različitim poljoprivrednim kulturama. Površine pod žitaricama su se smanjile, a porasle su kulture koje je potrebno što brže transportirati do gradova. Satelitsko daljinsko istraživanje omogućuje multi-spektralne i multitemporalne snimke koje se usporedbom i analizom pretvaraju u vrijedne informacije koje se koriste za izradu plana korištenja zemljišta.

6.3.2. Promjene okoliša u pograničnom području SAD-a i Meksika

Primjena daljinskih istraživanja u proučavanju pograničnog područja između Sjedinjenih Američkih Država i Meksika, između Imperial Valleya, Kalifornija (SAD) i doline Mexicali, Baja California (Meksiko), zanimljiv je primjer analize društvenog utjecaja na okoliš, posebice na vegetaciju. Politička granica između dviju država je vidljiva kroz kontrast vegetacijskih uvjeta u dvije doline (sl. 11).



Sl. 11. Kompozitna slika Landsat ETM + u boji nastala 3. svibnja 2000. u pograničnom području

Izvor: The SAGE Handbook of Geographical Knowledge, 2011.

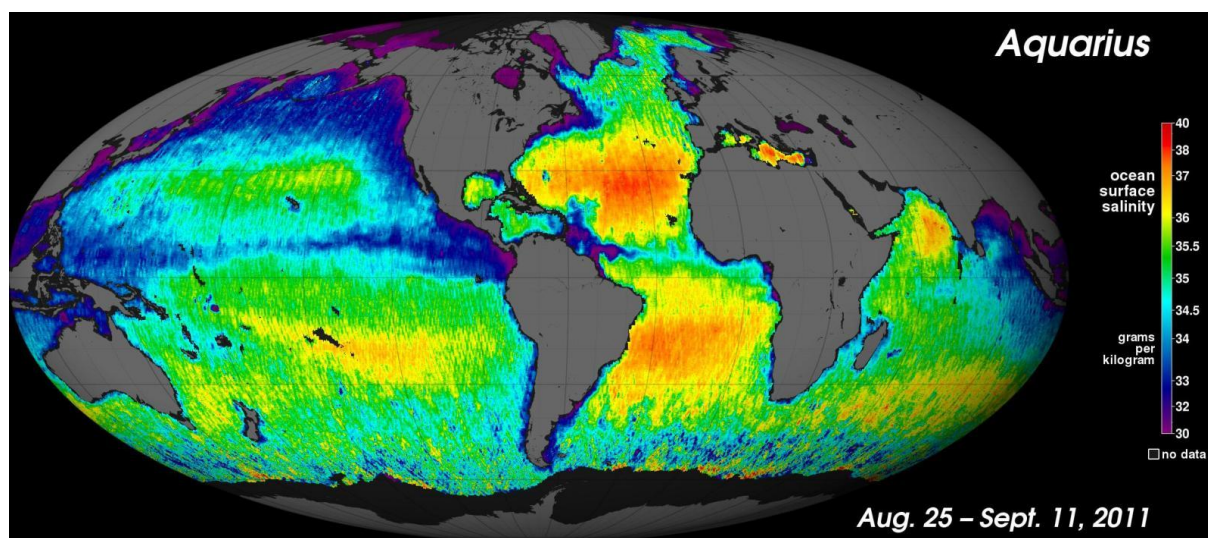
Obje doline glavna su područja navodnjavane poljoprivrede, a obuhvaćaju tisuće hektara površine s poljoprivrednom proizvodnjom tijekom cijele godine. Polja sjeverno od granice su kvalitetnija i produktivnija su od onih na jugu. Iako su fizički uvjeti oko granice isti, sustavi navodnjavanja i načini obrade poljoprivrednih površina koje koriste dvije zemlje uvelike se razlikuju. Sustavi za navodnjavanje su vrlo važni za intenzivnu poljoprivredu u pustinjском окруženju. Navodnjavaju se gotovo svi usjevi u Imperial Valley i dolini Mexicali. Jedina razlika između dviju dolina je potreba za pumpanjem podzemne vode u Meksiku, dok Imperial Valley svu svoju vodu dobiva iz rijeke Colorado, koju distribuira država kroz sustav za navodnjavanje kroz mrežu kanala dugačkih više od 2500 kilometara (Finco i Hepner, 1998). Dolina Mexicali koristi mješavinu vode dijelom iz korita rijeke Colorado i podzemne vode za navodnjavanje, ali nedostaje kanalska mreža, što rezultira većim udjelom usjeva koji se nedostavno navodnjavaju

Primjena daljinskih istraživanja u praćenju promjena na Zemljinoj površini i u ovom primjeru ima važnu ulogu. Kroz kontinuirano i pravovremeno praćenje promjena povećavaju se šanse za rano dijagnosticiranje prostorno uvjetovanih problema i brzo djelovanje na ublažavanje posljedica. Daljinska istraživanja ne mogu izravno osjetiti ljudske i društvene aktivnosti putem elektromagnetskog zračenja, ali mogu zabilježiti promjene uvjetovane ljudskim djelovanjem u prostoru, stoga daljinska istraživanja imaju itekako važno mjesto u istraživanju procesa i pojava u društvenoj geografiji.

6.4. Primjena u Geografiji mora

6.4.1. Praćenje saliniteta mora i oceana pomoću satelita Aquarius

Aquarius, prvi satelit koji prati salinitet mora i oceana, lansiran je 2011. godini. Njegova osnovna namjena je mjerenje globalnog saliniteta morske vode, odnosno utvrđivanje varijabilnosti saliniteta. Cilj misije za topografiju površinskih voda SWOT, čiji je dio i satelit Aquarius, je pružiti detalje o svjetskim oceanima i morima te kopnenim vodama.



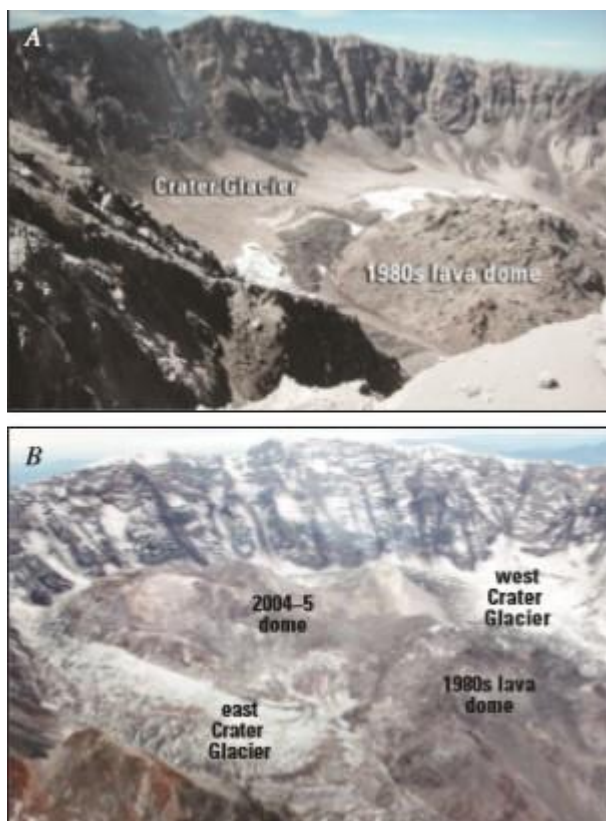
Sl. 12. Satelitski snimak raspodjele saliniteta u razdoblju 28. kolovoza – 11. rujna 2011.

Izvor: <http://www.astronoo.com/en/articles/aquarius.html>

Nedavno lansirani sateliti, koji imaju istu sličnu funkciju kao sa Aquarius, kanadski Radarsat, europski Envisat i japanski ALOS prikupljaju podatke sa Zemljine površine i osiguravaju snimke visoke rezolucije širom svijeta. Jedan od takvih snimaka, s satelita Aquarius, nalazi se na slici 12. gdje možemo vidjeti raspored saliniteta svjetskih oceana i mora. Snimka ove vrste može nam odlično poslužiti u istraživanjima Geografije mora. Snimak nam omogućuje praćenje prostornog rasporeda, ali i promjena u razini saliniteta. Promjena saliniteta nam je izrazito važna kod otapanja ledenjaka uz obale Grenlanda i Antarktike te otapanja ledenog pokrova na Arktiku, kod povećanja ili smanjenja pritoka slatke vode s kopna, kod jačanja ili slabljenja evaporacije na nekim dijelovima Zemlje itd.

6.5. Primjena u Geomorfologiji

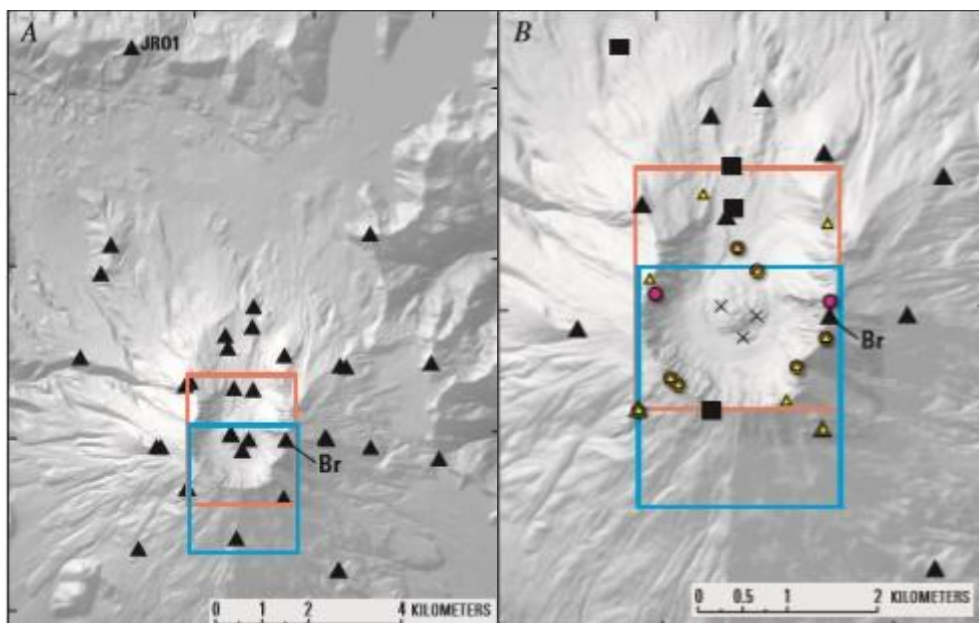
6.5.1. Upotreba digitalne aerofotogrametrije za određivanje stope rasta sekundarne vulkanske kupe na planini Mount St. Helens, Washington, SAD, 2004. – 2005. godine



Sl. 13. Fotografije kratera Mount St. Helens s istočnog ruba (A), krater prije erupcije i kupola lave iz 1980. te glečer Crater (uglavnom prekriven kamenim ostacima) (B)

Izvor: Use of Digital Aerophotogrammetry to Determine Rates of Lava Dome Growth, Mount St. Helens, Washington, 2004. – 2005. godine

Počevši u listopadu 2004., nova sekundarna kupa rasla je na kupoli Mount St. Helens u Washingtonu, neposredno južno od kaldere nastale 1980-ih (sl. 13 i 14). Sedamnaest digitalnih modela reljefa (DEM) izrađenih od vertikalnih fotografija iz zraka pružaju kvantitativne procjene volumena ekstrudirane lave i ukupne promjene volumena. Da bi se izvukle volumetrijske promjene i izračunale volumne stope istiskivanja (brzine magma pražnjenja), svaka DEM površina uspoređena je s referentnim površinama prije difuzije digitalnih modela reljefa iz 1986. i 2003.



Sl. 14. Na slikama A i B prikazan je reljef površine na Mount St. Helens (dobiven 2003.). Crveni i plavi pravokutnici prikazuju područja preklapanja dvaju snimka vertikalne zračne fotografije veličine. Trokutima su označene kontrolne točke

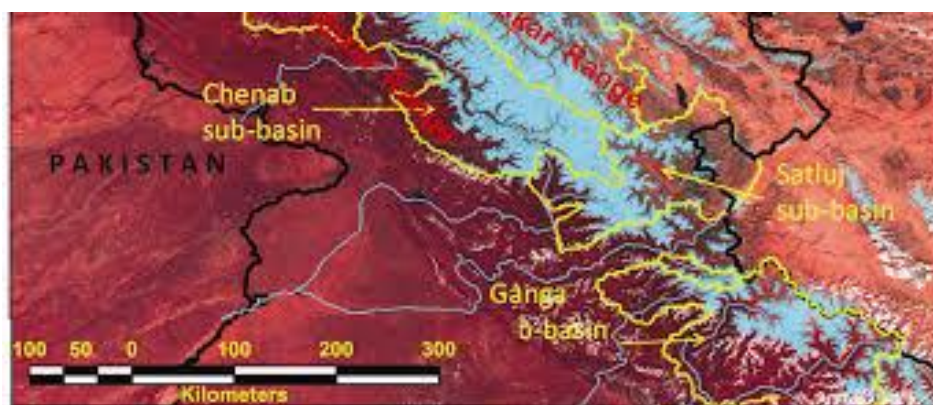
Izvor: Use of Digital Aerophotogrammetry to Determine Rates of Lava Dome Growth, Mount St. Helens, Washington, 2004. – 2005.

Početkom erupcije 2004. – 2005., digitalni modeli reljefa su dokumentirali deformiranje ledenjačkog leda i kratera, koji su tvorili istaknuto ispupčenje s volumenom od $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ i brzinom rasta od $8,9 \text{ m}^3/\text{s}$ prije nego što se lava prvi put pojavila na površini 11. listopada 2004. Nakon toga, stopa rasta bila je u početku bila $5,9 \text{ m}^3/\text{s}$, ali usporena na $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ početkom siječnja 2005. Tijekom 2005. brzina rasta postupno se smanjivala na oko $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Do 15. prosinca 2005., novi kompleks kupole bio je dugačak oko 900 m i širok 625 m, a dosežao je 190 m iznad površine iz 2003. godine (Schilling i dr., 2008).

Uspješna primjena aerofotogrametrije za praćenje erupcije bila je moguća uglavnom zbog slika i podataka koje se postojale prije aktivacije vulkana. Vertikalne zračne fotografije, uključujući digitalne modelje reljefa i izračune izvedene iz njih, bile su jedan od najčešće korištenih skupova podataka prikupljenih tijekom erupcije 2004. – 2005. godine. Ovi podaci korišteni su za izradu fotogeoloških karata, polja deformacijskih vektora i profila koji se razvijaju također pomogli su u stvaranju modela i hipoteza o dinamici erupcije te procjeni opasnosti koje vulkan predstavlja.

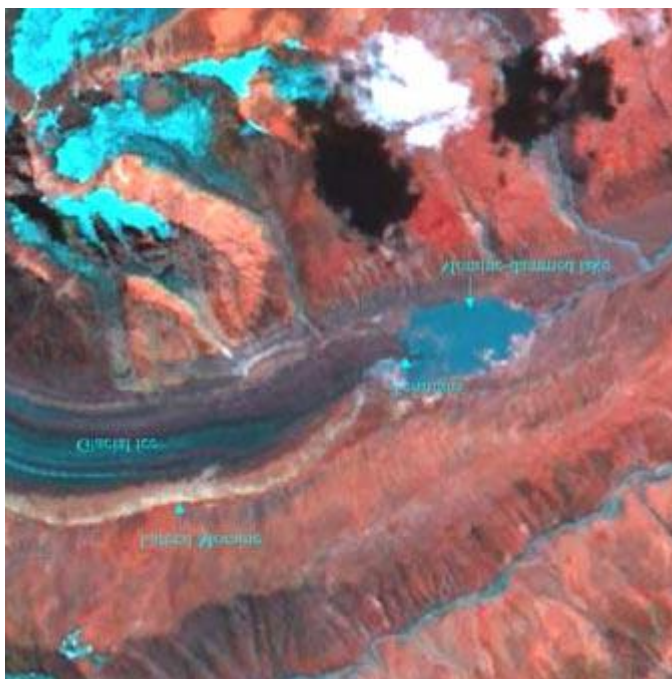
6.5.2. Povlačenje ledenjaka na Himalaji

Globalno zagrijavanje uzrokovalo veliko povlačenje ledenjaka na Zemlji. Većina ledenjaka u planinskim predjelima Himalaje značajno se smanjila tijekom prošlog stoljeća i utjecala na povećanje protoka himalajskih rijeka. Međutim, praćenje himalajskih ledenjaka nije jednostavno primjenom konvencionalnih metoda zbog neravnog i nepristupačnog terena. Stoga su izrađeni terenski zapisi na odabranim himalajskim ledenjacima. U ovom istraživanju zabilježene su promjene na 466 ledenjaka u Himachal Pradesh-u, koji pokrivaju tri velika bazena Chenab, Parbati i Baspa (sl. 15). Ovo su važni riječni slivovi Indijske ekonomije, jer se ovdje grade brojne velike hidroelektrane. Stoga su promjene ledenjaka i njihov utjecaj na protok rijeka važni za planiranje budućih strategija proizvodnje hidroenergije (sl. 16) (Kulkarni i dr., 2007).



Sl. 15. Položaj bazena Chenab u Himalajskom području na sjeveru Indije, 2018. godine

Izvor: Trends of snow cover in Western and West-Central Himalayas during 2004–2014



Sl. 16. Satelitska snimka prikazuje jezero i morenu te rubne dijelove ledenjaka Samudra Tapu, bazen Chenab, 2007. godine

Izvor: Glacial retreat in Himalaya using Indian Remote Sensing satellite dana, 2007.

Prvotna površina ledenjaka iznosila je 2077 kvadratnih kilometara 1962. godine, a 1628 kvadratnih kilometara u razdoblju od 2001. do 2004. godine. To znači da se u razdoblju od 40 godina površina ledenjaka smanjila za 21 %. Prosječna veličina ledenjaka smanjena je s 1,4 na 0,32 četvornih kilometara između 1962. i 2001. godine. Iako je ukupna površina pod ledom smanjena, broj ledenjaka se povećao (Kulkarni i dr. 2007).

Pomoću ovih snimaka jasniji nam je utjecaj globalnog zagrijavanja na planinska područja. Gore navedeni primjer pokazuje nam razmjere smanjenja površina pod ledenjacima na relativno manjoj jedinici površine. Kombinacijom daljinskih istraživanja i terenskog rada ovaj primjer nam može biti dobar temelj geomorfološkim istraživanjima diljem Svijeta.

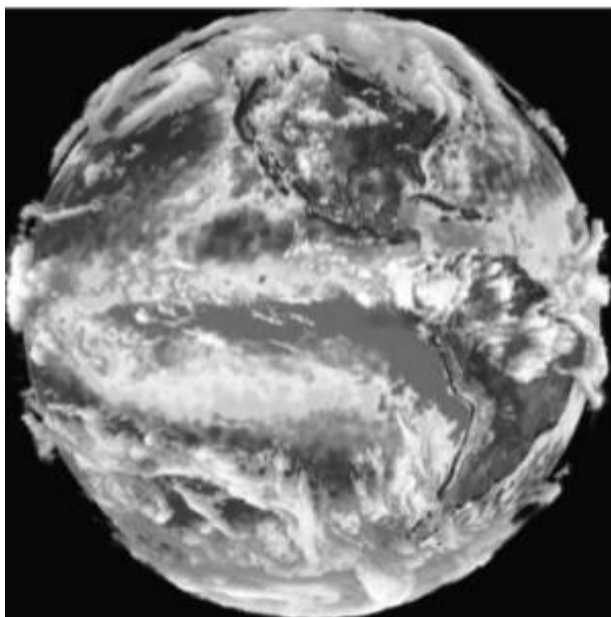
6.6. Primjena u Klimatologiji

6.6.1. Otkrivanje i proučavanje El Niña

El Niño je prirodni fenomen, odnosno meteorološka pojava povezana s promjenama klime na području Tihog oceana. Fenomen se proučava primjenom daljinskih istraživanja.

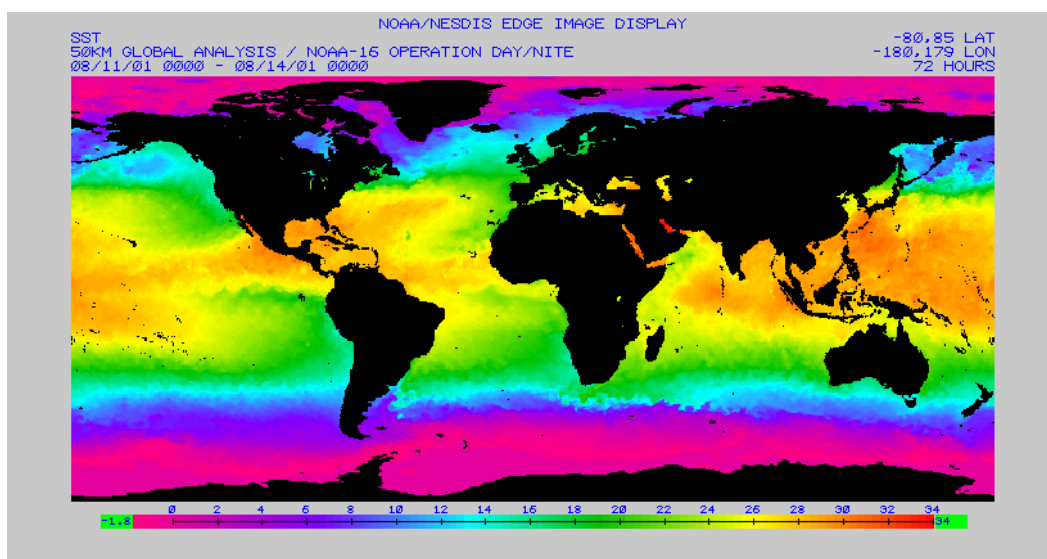
Slika 17, koja prikazuje pojavu El Niña, dobivena je integracijom snimaka kopna, karata požara, temperature mora i slojeva oblaka prikupljenih od više satelitskih senzora.

Različiti satelitski podaci pomogli su u razjašnjenju pojave El Niña u Tihom oceanu. Promjene su otkrivene korištenjem TOPX/Poseidon radarske altimetrije za otkrivanje površinske anomalije elevacije tijekom El Niña. Dok meteorološki sateliti prate vodenu paru u atmosferi i padaline, mnogi sateliti mogu pratiti vegetacijske uvjete, vlagu tla te temperaturu zraka (sl. 18) tijekom El Niña. Satelitski podaci pokazuju jasnu povezanost pojave El Niña s oceanskim uvjetima diljem ekvatorijalnog dijela Tihog oceana, ali i šire. Promjene povezane s El Niňom mogu se proučavati širom svijeta, primjeri su suše u Australiji i Indoneziji, ekstremne epizode indijskog monsuna i uragana na Atlantiku (Parkinson, 1997). Temeljni pomak dogodio se 1980-ih s razvojem koncepta istraživanja globalnih promjena (Bretherton, 1988), a globalne promjene sada dobivaju više pažnje nego ikad. Jedna od NASA-inih misija je baviti se promjenama na Zemlji. Jasno je da daljinska istraživanja omogućuju globalno cjelovita i konzistentna, prostorno i vremenski ponavljajuća mjerenja Zemlje koja su potrebna da se utvrde sve promjene na njenoj površini. U suvremenom razdoblju mnogi se važni podaci o korištenju zemljišta, atmosferskih, biofizičkih i socioekonomskih parametara dobivaju daljinskim istraživanjem. Njihova vrijednost u potpunosti je vidljiva u istraživanjima globalnih promjena, posebno u globalnom ciklusu ugljika, vodnom i energetsom ciklusu, dinamici morskog leda, klimatskoj varijabilnosti i atmosferskim svojstvima.



Sl. 17. Prikaz El Niña dobiven integracijom različitih snimaka različitih satelita

Izvor: The SAGE Handbook of Geographical Knowledge, 2011.



Sl. 18. Jedan od principa korištenja daljinskih istraživanja u praćenju El Niña

Izvor: <https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/infrared.htm>

7. Zaključak

Primjena daljinskih istraživanja danas je široka. Najpoznatiji primjer je Google Earth, program kojeg je razvio Google kako bi omogućio širokoj populaciji ljudi brzo i lako pregledavanje Zemljine površine (danas čak možemo gledati i površinu Marsa). Sa znanstvenog aspekta, danas u geografiji važnu ulogu čini prikupljanje podataka pomoću daljinskih istraživanja. Dobiveni snimci su nam glavni izvori informacija za brojna istraživanja u okviru pojedinih disciplina geografije, kao što su, na primjer, hidrogeografija, geografija mora, ruralna geografija, geoekologija, klimatologija te geomorfologija.

Prema navedenim primjerima u ovome radu možemo zaključiti kako su nam podaci dobiveni putem daljinskih istraživanja izuzetno važni i predstavljaju temelj za daljnja istraživanja. Primjenom daljinskih istraživanja u geografiji i analizom satelitskih snimaka vrlo brzo i pouzdano možemo pratiti prostorne promjene. Daljinsko istraživanje znatno nam je olakšalo istraživanja teže dostupnih terena, poput reljefno nepristupačnih krajeva ili podmorja. Primjenom daljinskih istraživanja puno je jednostavnije proučavati velike površine – odličan primjer je istraživanje smanjivanja površine Aralskog jezera, recentnih geomorfoloških procesa u planinskim područjima poput Alpa, Himalaja ili Anda, jednostavnije je proučavati podmorski reljef.

Brojni su primjeri primjene daljinskih istraživanja i u drugim, ali geografiji srodnim znanostima. Primjerice, proučavanja količine fitoplanktona u morima i oceanima na temelju čega se mogu utvrditi područja bogata ribom. U šumarstvu se daljinska istraživanja primjerice koriste u kontroliranju površina pod šumom – krčenje šuma, požari i slično. U poljoprivredi, daljinska istraživanja, nam omogućuje praćenje površina pod usjevima. Iz svega navedenog možemo zaključiti kako je primjena daljinskih istraživanja danas uvelike raširena i sve se više uključuju u sve više grana ljudske djelatnosti.

Popis literature

- Agnew, J. A., Livingstone, D. N. (2011.): The SAGE Handbook of Geographical Knowledge, SAGE Publications, London
- Aronoff, S. (2005): Remote Sensing for GIS Managers. Redlands, CA:ESRI Press.
- Bretherton, F. (1988): Earth System Science: A Closer View, Earth Systems Sciences Committee to the NASA Advisory Committee, Washington, SAD
- Campbell, J.B., Wynne, R. H. (2011.): Introduction to Remote Sensing Fifth Edition, The Guilford Press, New York
- Finco, M.V., Hepner, G.F. (1998): Modeling agricultural nonpoint source sediment yield in Imperial Valley, California, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 64: 1097–1105.
- Frančula N., Lapaine, M., (2001.): Kartografija i daljinska istraživanja, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb
- Frančula, N., Lapaine, M., Vučetić, N. (1994): Primjena daljinskih istraživanja u kartografiji, Geodetski list, 3, 265-276.
- Gierloff-Emden, H. G. (1989): Fernerkundungskartographie mit Satellitenaufnahmen Allgemeine Grundlagen und Anwendungen. Enzyklopedie der Kartographie, Band IV/1, Franz Deuticke, Wien.
- Jensen, J.R. (2007): Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. Upper Saddle River, New Jersey
- Koeman, C. (1971): Die Geländedarstellung von Hochgebirge in kleinmassstäbigen Karten überprüft durch Satellitenbilder. Kartographische Nachrichten 1, 1-16.
- Konecny, G. (2003.): Geoinformation, Remote sensing, photogrammetry and geographic information systems, Taylor & Francis, London
- Kulkarni, A. V., Bahuguna, I. M., Rathore, B. P., Singh, S. K., Randhawa, S. S., Sood, R. K., Dhar S. (2007.): Glacial retreat in Himalaya using Indian Remote Sensing satellite data, Current Science, Vol. 92, No. 1, 2007.
- Lillesand, T.M., R.W. Kiefer and J.W. Chipman (2007): Remote Sensing and Image Interpretation, John Wiley & Sons, New York
- Parkinson, C.L. (1997) Earth from Above: Using Color-Coded Satellite Images to Examine the Global Environment. Sausalito, CA: University Science Book.

Qihao W. (2002.): Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling, *Journal of Environmental Management* 64, 273–284, 2002.

Schilling, S. P., Thompson, R. A., Messerich, J. A., Iwatsubo, E. Y. (2008.): Use of Digital Aerophotogrammetry to Determine Rates of Lava Dome Growth, Mount St. Helens, Washington, 2004–2005., U.S. Geological Survey Professional Paper 1750, 2008.

Schwidefsky, K. (1967): Topographische Methoden Heute und Morgen. *Kartographische Nachrichten* 5, 161-168.

Smith, L.C., Sheng, Y., MacDonald, G.M. , Hinzman, L.D. (2005): Disappearing Arctic lakes, *Science*, 308: 1429.

Popis izvora

Astronoo: Aquarius (observation satellite)

<http://www.astronoo.com/en/articles/aquarius.html> (28.8.2019.)

Canada Centre for Remote Sensing. Fundamentals of Remote Sensing, Tutorial, <http://www.cors.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/tutorial/tutore.html> (4.8.2019.)

Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing

<https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/infrared.htm> (28.8.2019.)

Medium Corporation: Fashion industry is causing an environmental crisis...

<https://medium.com/@nurgulaberk/fashion-industry-is-causing-an-environmental-crisis-8b671580ec50> (28.8.2019.)

Petra Pixell: The Oldest Surviving Aerial Photograph

<https://petapixel.com/2013/04/02/the-oldest-surviving-aerial-photograph/> (28.8.2019.)